

## 고성능 액정고분자

손 태 원

한국과학기술연구원 고분자연구부  
(1993년 8월 26일 접수)

### High-Performance Liquid-Crystalline Polymer

Tae-Won Son

Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea  
(Received August 26, 1993)

#### 1. 서 론

고성능 액정고분자는 주쇄가 매조젠으로써 작용하는 구조적 특징을 갖고 있다. 따라서 액체상태에서 결정과 유사한 내부규칙성을 가지며, 광학적으로 이방성을 나타내고 외력에 의해 쉽게 분자배향을 이루는 특성을 보인다. Fig. 1에서 보듯이 일반 고분자는 분자쇄가 유연하여 분자쇄 간에 일정한 규칙성을 갖는 유동체를 만드는 것이 매우 어렵다. 그러나 액정고분자에 있어서는 분자쇄가 강직하여 액상에서 분자쇄들이 서로 배열하여 안정한 상태를 유지한다.

산업용으로 널리 사용되고 있는 유기고분자 소재를 분류하면 고성능 고분자, 액정고분자 및 일반 고분자로 분류될 수 있다. 고성능 고분자에 있어서는 일반 고분자 보다 월등히 높은 온도에서도 견디는 내열성을 갖는 것이 주요한 특징으로 나타나 있다. 반면 액정고분자에서는 기계적 성질이 향상된 고강도 특성을 갖는 것이 중요하며, 더불어 내열성도 일반 고분자보다 아주 우수한 것이 일반적이다. 내열성 면에서는 액정고분자도 고성능 고분자에 포함된다.

고성능 고분자는 모두 방향족으로 이루어져 있으나 특히, 액정고분자는 그 중에서도 파라형 방향족 고분자에 한정되어 있다. 예를 들면 Fig. 2에서와 같이 주쇄 결합이 모두 직선성을 유지하고 굴곡을 갖지 않는

것이 요구된다. 방향족폴리아미드, 방향족폴리에스테르 등 파라형 페닐환을 아미드기 혹은 에스테르기로 연결한 분자구조의 고분자가 요구하는 구조적 특성을 잘 만족시키고 있다.

액정고분자에는 용액상태에서 액정을 형성하는 용

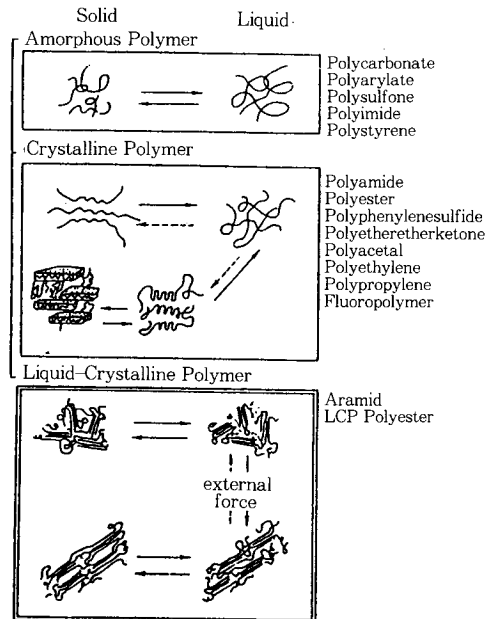


Fig. 1. 액정고분자의 분자구조.

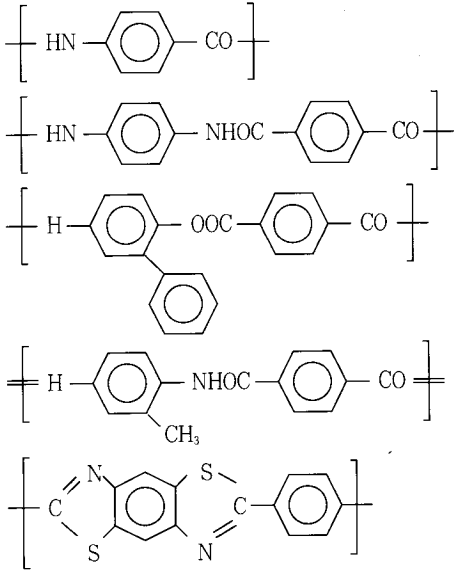


Fig. 2. 파라형 고분자.

액 액정고분자와 용융상태에서 액정을 형성하는 열방성 액정고분자로 분류된다. 용액 액정고분자는 주로 고강도 섬유로 활용되고 있으며, 열방성 액정고분자는 고강도 플라스틱으로 이용된다. 특히, 고성능 액정고분자는 주쇄의 강직성에 의해 그 특성이 나타나므로 대체로 분자쇄들이 서로 1차원적으로 배열하는 네마틱 상을 이루는 것으로 알려져 있다.

2. 고강도 섬유

액정고분자를 사용한 대표적인 고강도 섬유로서는 아라미드(Aramid) 섬유가 있다. 이는 액정고분자인 방향족폴리아미드를 원료로 액정의 고유특성을 이용하여 만들어진 고강도 섬유다. 분자구조에 있어서 주요한 특성은 주쇄가 메조젠으로 작용하고 용매에 용해되어 용액 액정을 형성한다는 것이다. 이 용액액정은 고배향 섬유제조를 위한 이상적인 방사원액으로 활용된다.

섬유의 제조에 있어서는 무엇보다도 분자쇄를 섬유축에 배향시키는 수단이 필요하다. 일반적으로 연신 등 외력에 의한 강제적인 방법으로 배향을 주는 방법이 상용되고 있으나, 액정용액을 사용할 때는 액정의 특성에 의한 자발적인 과정을 통해 배향을 달성하는 것이 가능하다. 그러므로 액정고분자를 이용할 경우에는 일반 고분자로는 얻기 어려운 고도배향 섬유를

제조할 수 있다.

고강도 섬유의 제조에는 액정을 이용한 방사법 외에도 방사과 더불어 초고연신을 행하는 방법이 있다. 예를 들면 고강도 폴리에틸렌 섬유, 고강도 PVA 섬유, 고강도 PAN 섬유 등은 젤방사를 통한 초고연신으로 얻어진 섬유이다. 또한 방향족 폴리아미드, 폴리아미드 등도 액정을 통하지 않은 고연신에 의해 고강도 섬유로 제조되어진다. 이들 섬유도 최종적으로 그림에서 보듯이 액정을 통한 고강도 섬유에서와 같이 분자쇄가 섬유축을 따라 직연 배열된 구조를 갖는다.

2. 1. 방향족폴리아미드

액정 방향족폴리아미드로서 대표적인 고분자는 듀폰사에 의해 개발된 케블라(Kevlar)라는 상품명의 Poly(p-phenyleneterephthalamide)(PPTA)이다. 이는 Fig. 3에서와 같이 주쇄가 파라형 결합으로 이루어지고, 파라형 방향족 단량체들을 사용하여 합성된다. 즉, 파라형 단량체인 파라페닐렌디아민(PPD)과 테레프탈산클로리드(TPC)를 유기용매 내에서 중합하여 파라형 전방향족 폴리아미드를 얻는다.

PPTA 이외에도 고강도 섬유제조를 위한 연구로 파라형 방향족폴리아미드인 Poly(p-benzamide), Poly(p-phenylene-2, 6-naphthalamide) 등이 합성되어 이들도 용액상태에서 액정을 형성하는 것이 확인되었으며, 또한 Table 1에서와 같이 액정을 형성하지 않아도 고강도 섬유 제조가 가능한 방향족폴리아미드 구조가 알려져 있다. 이 비액정 구조에서 제조된 고강도 섬유는 데이진사에 의해 개발되어서 테크놀라(Technola)라는 이름으로 시판하고 있다.

PPTA는 황산(100%)에 용해되며 임계농도 이상

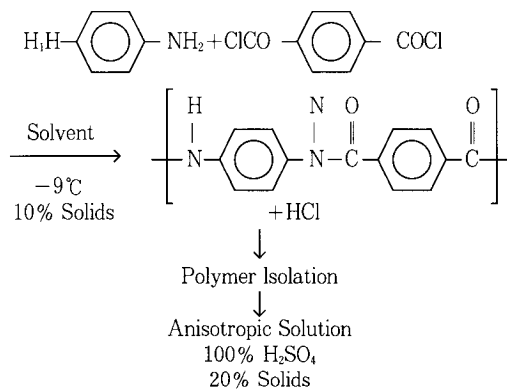
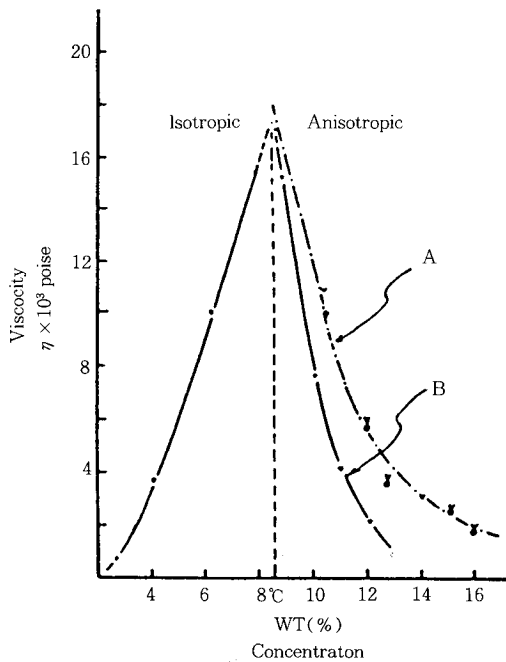


Fig. 3. PPTA의 합성.

Table 1. 고강도 아라미드 구조와 특성

dope	Structure	Orientation method	Mechanical Properties		remark
			Strength(GPa)	Modulus(GPa)	
aniso	$\left[ -\text{NH}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O}) \right]_n$	L. C. spinning	1.6	85	PRD
aniso	$\left[ -\text{NH}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NHC}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O}) \right]_n$	L. C. spinning	3.7	128	Kevlar
iso	$\left[ \text{NH}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH} \right]_{50}$ $\left[ \text{NH}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH} \right]_{50}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O}) \right]_n$	drawing	3.0	80	Technola
iso	$\left[ -\text{NH}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})\text{NHNHC}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O}) \right]_n$	drawing	1.9	80	X-500



(A)  $\eta_{inh}$  3.85 at 50°C, 100% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
 (B)  $\eta_{inh}$  2.73 at 18°C, 100% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Fig. 4. PPTA-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(100%) 용액의 임계농도.

고농도 용액에서 액정을 형성한다. 임계농도는 분자

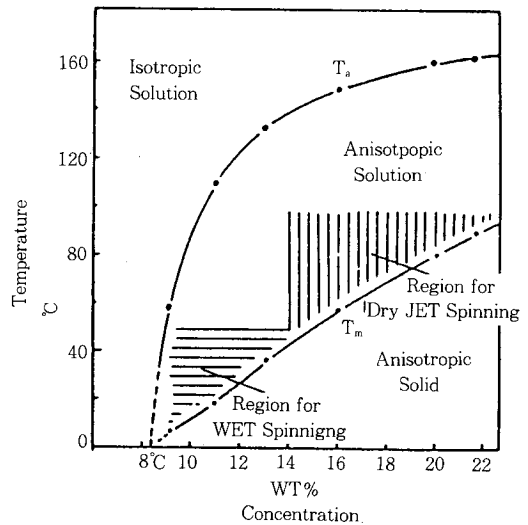


Fig. 5. PPTA-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(100%) 용액의 상변화곡선.

량 온도 등에 따라 다르나 Fig. 4에서 보듯이 상온에서 8-9wt% 사이에 나타난다. PPTA는 주쇄가 베조젠으로 작용하는 강직쇄 고분자이며, 주쇄의 강직성이 고농도 용액에서 액정을 형성하는 요인으로 작용한다.

PPTA-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(100%) 용액에 있어서 농도 및 온도에 따른 상변화곡선이 Fig. 5에서와 같이 나타난다.

여기서 액정을 형성하는 영역을 보여주고 있으며, 고강도 섬유 제조를 위한 방사조건을 추정할 수 있다. 즉, 세로로 사선 친 영역이 액정방사를 통해 고강도 섬유를 얻을 수 있는 최적 조건으로 알려져 있다. 농도 20wt% 용액이 액정임을 보여주는 직접적인 증거는 그림에 나타나 있는 갑작스런 광투과도의 변화에서 확인될 수 있다. 이러한 온도에 따른 변화에서부터 액정방사에 적절한 온도를 추정할 수 있다.

고강도 방향족폴리아미드 섬유의 기계적 성질을 보면 Table 1에서와 같다. 액정고분자의 경우가 비액정성보다 탄성률에서 훨씬 더 큰 값을 보여준다.

### 2. 2. PBO, PBT

복소환계 고분자는 주쇄 내에 방향족환을 복소환으로 연결하고 있어서 유기 선상고분자 중 가장 강직성이 큰 것으로 알려져 있다. 이는 고강도 고탄성률 섬유로써 기대되는 반면, 고분자 제조시 3관능기 이상의 다관능성 단량체를 사용해야 하므로 단량체 및 고분자의 합성조건에 있어서 많은 제약을 받는다. 특히, 고가의 다관능성 단량체를 사용하여야 하므로 경제적 제약이 크다. 최근 개발된 대표적인 복소환계 액정고분자로서는 Poly(p-phenylenebenzobisoxazole) (PBO) 및 Poly(p-phenylenebenzobisthiazole) (PBT) 가 있다. 이들은 Fig. 6에서와 같이 해당 단량체를 폴리인산 내에서 용액으로 중합하여 얻어진다.

PBO와 PBT는 폴리인산, 황산, 메탄설폰산 등에 용해되고 임계농도 이상 용액에서 액정을 형성하며, 액정 방사용액을 통한 고강도 섬유 제조가 가능하다. Fig. 7에서 보듯이 PBO-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(100%) 용액에 있어서 액정을 형성하는 임계농도가 PPTA 경우에 비해

상대적으로 낮게 나타나고 있다. 이는 4가 페닐에서 생성된 복소환이 아미드기보다 더욱 강직한 성격을 띠고 있는 것으로 보여진다.

PBT, PBO 액정용액은 섬유제조를 위한 방사원액

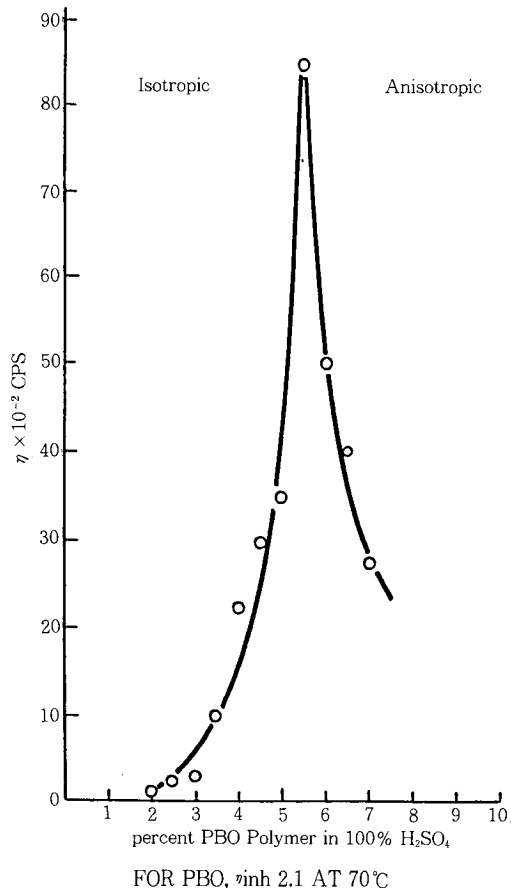


Fig. 7. PBO-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(100%) 용액의 임계농도.

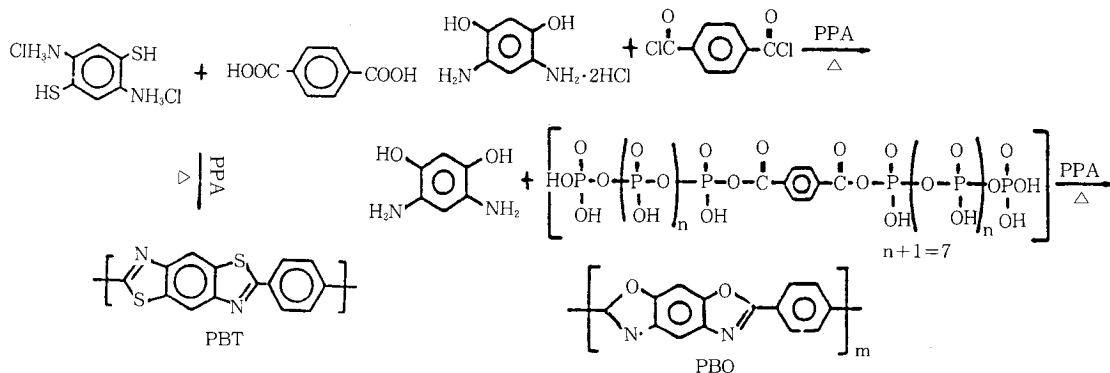


Fig. 6. PBT, PBO의 합성.

Table 2. PBT, PBO 섬유 특성

SPINNING DOPE	CONDITION	MOD g/d	TEN g/d
PBZT/MSA	AS-SPUN	350-1200	3-12
	HEAT-SET	1000-2100	11-18
PBZT/PPA	AS-SPUN	400- 600	4-18
	HEAT-SET	600-2100	6-20
PBO/PPA	AS-SPUN	500- 700	4-18
	HEAT-SET	700-2100	6-20

으로 사용되며, 이로부터 제조된 섬유의 특성은 Table 2에 나타나 있는 것과 같이 고강도일 뿐 아니라 탄성율이 매우 크다는 것이다.

2. 3. 액정방사

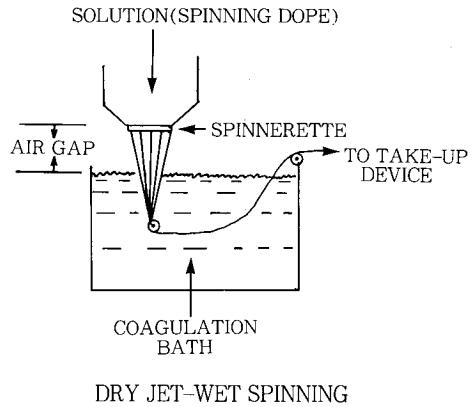
액정 방사용액을 사용하여 고강도 섬유를 제조하기 위해서는 일반 섬유제조시와는 다른 방사방법이 필요하다. 액정방사에서는 무엇보다도 액정용액을 방사원액으로 사용한다는 데에 특징이 있으며, 또한 용액상태에서 분자쇄를 배향시키는 조작이 매우 중요하다.

방사시 사출된 액정용액 상태에서 분자쇄를 배향시키는 것이 매우 중요하며, 그 방법으로는 보통 건습식 방사법(dry-jet wet spinning)을 사용한다. Fig. 8에서 보듯이 건습식방사는 건식방사와 습식방사의 중간 형태를 취하고 있으므로 액상의 사출원액에서 분자쇄를 배향시키는 조작이 가능한 것이다. 즉, 방사노즐과 응고액 사이의 공기층에서 사출원액이 굳기 전에 이를 인장하여 액정 내의 분자쇄를 배향시키는 것이다.

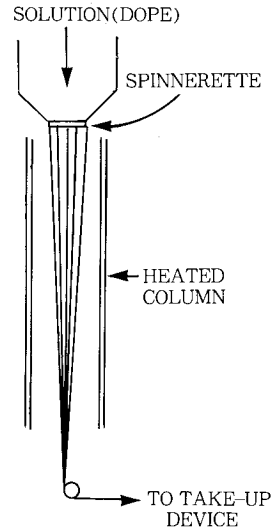
3. 고강도 플라스틱

고성능 엔지니어링 플라스틱으로써는 방향족 고분자를 위주로 한 결정성, 비결정성 액정 고분자가 있다. 결정성 고분자는 폴리에테르케톤, 폴리설파이드 등 그 종류가 한정되어 있다. 비결정 고분자로는 폴리이미드, 폴리설폰, 폴리에테르설폰, 폴리에테르이미드 등 많은 고성능 고분자가 이에 속한다.

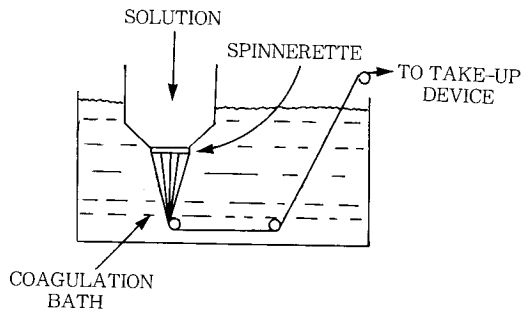
고강도 플라스틱은 액정 폴리에스테르 등 용융상태에서 액정을 나타내는 방향족 고분자로 대표된다. Table 3에서 보면 내열성 면에서 모든 방향족 고분자가 우수한 특성을 보이고 있으나 강도 면에서는 액정 고분자가 특별히 좋은 성질을 나타낸다. 이러한 고강



DRY JET-WET SPINNING



DRY SPINNING



WET SPINNING

Fig. 8. 건습식 방사.

Table 3. 고성능 고분자의 특성

	Liquid Crystal Polyesters		Polyimide	Poly-ether-imide	Poly-ether-ketone	Poly phenylene sulfide	Poly-ether sulfone
	Dart Xydar SRT-300 Unfilled	Celanese Vectra A950 Unfilled	Du Pont Vespel SP-1 Unfilled	GE Ultem-1000 Unfilled	ICI Victrex PEEK Unfilled	Phillips Ryton R-6 Unfilled**	ICI Victrex 200-P and 300-P Unfilled**
Melting point, °F(°C)	790(421)	540(282)			634(334)		
Specific gravity		1.4		1.3	1.3		1.37
Tensile strength, psl	20,000	29,900	13,000	15,200	13,200	9,500	12,180
Elongation, %	4.9	3.0	7-9	7-8		1.6(at break)	
Tensile modulus, psl	25 × 10 <sup>6</sup>	1.4 × 10 <sup>6</sup>		0.43 × 10 <sup>6</sup>			
Flexural strength, psl	19,000	22,000	17,000	21,000			18,700
Flexural modulus, psl	2.0 × 10 <sup>6</sup>	1.3 × 10 <sup>6</sup>	0.45 × 10 <sup>6</sup>	0.48 × 10 <sup>6</sup>	0.56 × 10 <sup>6</sup>	0.55 × 10 <sup>6</sup>	0.38 × 10 <sup>6</sup>
Izod impact strength, notched, ft-lb/in.	2.4	8.1	1.0	1.0	1.6	<0.5	1.6
Heat deflection temperature at 264 psl, °F(°C)	671(355)	356(180)		392(200)	320(160)	275(135)	397(203)

도를 갖는 고분자를 별도로 고강도 플라스틱으로 구별하였다. 이는 그 자체로써 고강도 플라스틱으로 사용될 뿐 아니라 다른 고분자의 보강재로도 사용될 수 있다.

3. 1. 열방성 액정고분자

열방성 액정고분자는 용융상태에서 액정을 나타내는 고분자로서 액정 폴리에스테르, 방향족 아조메틴 등 Fig. 9와 같이 주쇄에 메조젠을 갖고 있는 것을 의미한다. 물론 측쇄에 메조젠을 갖고 있는 열방성 액정고분자도 있으나 이는 고성능과는 무관하다.

열방성 액정고분자는 최근 고강도 플라스틱으로 각광을 받고 있으며, 이는 용액 액정고분자와는 달리 용융점을 갖고 있기 때문에 용융가공이 가능하다. 플라스틱으로 사용되기 위해서는 가공이 온도 200-350

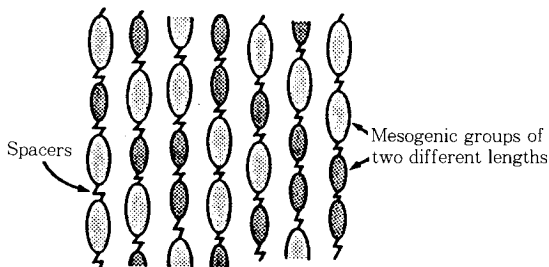


Fig. 9. 열방성 액정고분자의 구조.

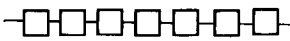
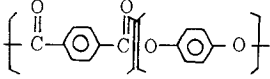
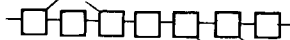
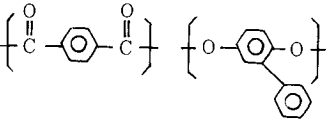
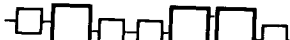
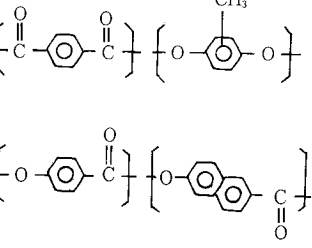
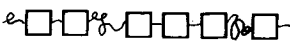
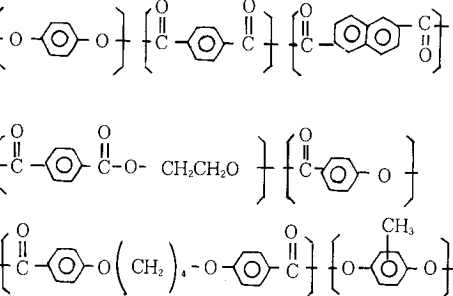
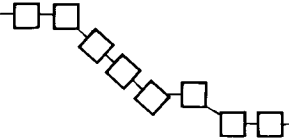
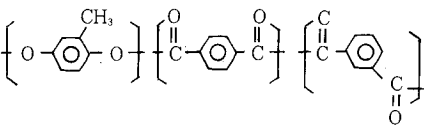
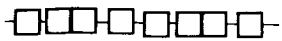
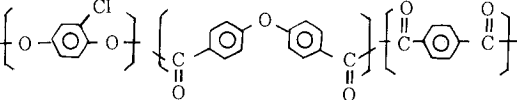
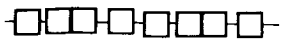
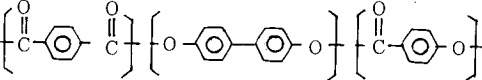
°C 사이에서 가능하도록 분자구조가 설계되어야 하며, 가공 등 조건에서 견딜 수 있는 충분한 안정성이 있어야 한다. 이러한 조건을 가장 잘 만족시키는 것이 액정 폴리에스테르이다.

3. 2. 액정 폴리에스테르

고강도 플라스틱으로써 대표적인 고분자가 액정 폴리에스테르이다. 전방향족 액정 폴리에스테르의 경우 고강도일 뿐 아니라 내열성도 아주 우수하다. 구조적으로는 파라형 방향족환이 에스테르 결합으로 연결된 주쇄를 가지므로 용융상태에서 액정을 형성하는 강직성을 갖는다. 이러한 구조적 요건 만을 충족시킬 경우 주어진 고분자가 주쇄의 강직성으로 인하여 용융점이 너무 높아져 가공한계를 넘어서게 된다. 즉, Poly(p-oxybenzoate), Poly(p-phenyleneterephthalate) 등은 파라형 방향족환들이 잘 결합된 강직성 고분자이나, 용융점이 분해온도를 넘어서 존재한다. 반면, 용융점이 높은 액정고분자에 가공성을 주기 위해서는 주쇄에 다소 유연성을 부여하는 것이 요구된다.

액정 폴리에스테르는 적절한 온도에서 용융점이 존재하는 것이 중요하다. 열방성 액정에서는 고분자의 용융을 전제로 한 특성변화가기 때문에 용융온도가 너무 높은 경우에는 액정의 장점을 살린 가공이 어렵

Table 4. 액정 폴리에스테르의 구조와 용점

Structure	Examples	Tm(°C)
 linear rigid-chain		> 600
 Substituted chain		≈ 340
 Bulky chain		> 400
 flexible links		≈ 230
 non-linear links		< 350
 irregular chain		≈ 250
 irregular chain		≈ 380

다. 그러므로 Table 4에서와 같이 용융가공이 가능한 온도에서 용융점을 얻기 위하여 불규칙성 부여, 측쇄 부가, 유연결합 도입 등 다양하게 변화된 구조의 액정 폴리에스테르를 제조하고 있다. 구조적 조건 외에도 고강도 플라스틱으로 활용되기 위해서는 용융특성, 수지특성, 단량체 여건, 경제성 등을 고려한 분자설계가 필요하다.

이와 같이 제반사항을 고려한 대표적인 액정 폴리에스테르로서는 Table 5의 구조적 특성을 갖는 고분자 들이다. 여기에서 보듯이 구조적으로 특징에 따라서 각각 다른 열변형온도 영역을 차지하고 있다.

이들 액정 폴리에스테르는 각각 비페닐기를 특징으로 한 자이다(Xydar), 에코놀(Ekonol), 나프탈렌기의 벡트라(Vectra), 유연한 지방족쇄를 도입한 X7G, EPE 등 상업적으로 활용되고 있다. 이외에도 페닐페닐렌기의 측쇄 치환기를 도입하거나, 주쇄에 이소프탈기 또는 카보네이트기를 부여하여 가공 가능한 유동체를 얻는 예도 보고되고 있다.

3.3. 열방성 액정고분자의 특성

액정고분자의 이방성 용융체는 등방성 고분자용융체와는 다른 여러 가지 성질을 갖고 있다. 첫째, 용융점도의 전단(shear)이 크다. Fig. 10에서 보듯이 제

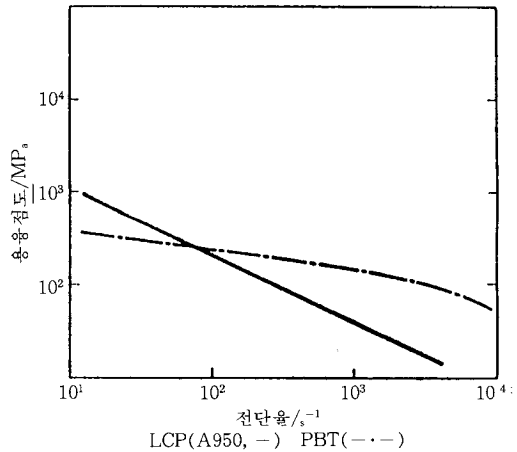
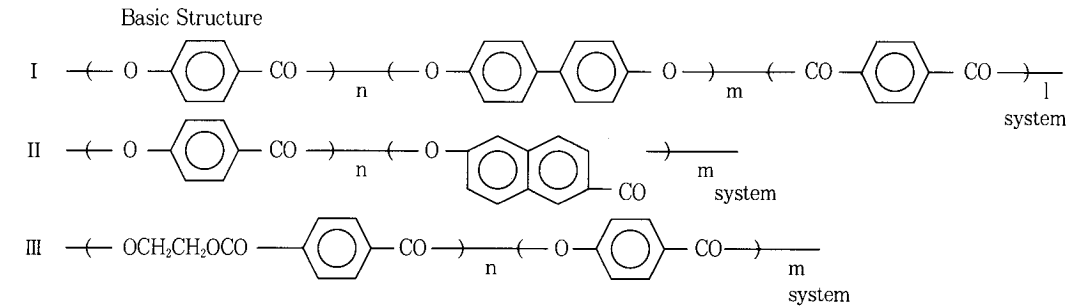


Fig. 10. 액정 폴리에스테르 용융점도의 전단율 의존성.

로 전단율 부근에서는 높은 점도를 갖지만 전단율이 커짐에 따라 점도가 급격히 저하한다. 둘째, 고화속도가 빠르다. 네마틱 액정고분자는 용해엔트로피가 일반 고분자 결정의 그것보다 아주 적고 용해 엔탈피 역시 비결정 고분자의 그것보다 매우 적기 때문에 급냉에 의해서도 내부 구조변화를 크게 일으키지 않는다. 셋째, 치수안정성이 좋다. 변형의 요인이 되는 열

Table 5. 액정 폴리에스테르의 대표적인 예



LIQUID CRYSTALLINE POLYESTERS

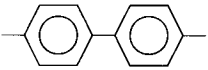
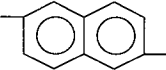
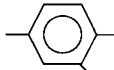
BIPHENYL GROUP ;	Carbrundum	NON-RIGID GROUP ;	Eastman-Kodak
	XYDAR(Dartco Mfg.)		EPE(Mitsubishi)
	EKONOL(Sumitomo)		LC(Unitica)
NAPHTHALENE GROUP ;	Celanese	DERIVATIVE PHENYLENE ;	dupont
	VECTRA(Celanese)		no commercial product
	low melt temperature		



Table 6. 아라미드 섬유용의 이용

분	야	용	도	예
고무보강재	자동차, 석유화학	타이어, 벨트, 고압내열 호스		
일반산업자재	로프, 케이블	행커 로프, 안테나 지지선, 요트 로프		
보온단열자재	코드, spun yarn	봉제사, 낚시줄, 테니스 라켓줄, 히타선 코드		
	직물, 펠트, 슈트	내열펠트, 커튼, 절연재료		
전기절연	범포(帆布)	막구조체, 요트돛, 항공기슈트, 카펫		
	필터	내열필터, 내산필터, 여과용부직포, 집진필터		
방호의	방탄의	방탄복, 자켓, 헬멧		
	안전복	소방복, 내화내열 작업복, 안전장갑, 방전의류		
석면대체	마찰재	브레이크패드, 클러치패시징		
	가스켓	엔진 가스켓, 고압내열 가스켓		
	패킹	그랜트 패킹		
시멘트 보강재	건축재	바닥재, 칸막이, 천장재, 인조대리석		
	토목재	파이프, 철근대체재		
플라스틱 보강재	FRP(열경화형)	항공기부품, 스포츠용품, 산업기기부품, 압력용기		
	F RTP(열가소성)	사무용부품, 전자기기부품, 케이스, 운할부품재		

팽창계수와 성형수축률이 작다. 이외에도 자기보강성, 고강도, 고탄성률, 내열성, 자기소화성, 내후성, 내약품성, 절연성, 가스차단성, 진동흡수성, 내방사선성 등 다양한 특성을 갖고 있다.

#### 4. 고성능 액정고분자의 응용

고성능 액정고분자는 성형가공 방법에 따라서 용도가 크게 둘로 나누어진다. 용액 상태에서 가공되는 방향족 폴리아미드는 주로 섬유로 이용되고, 가공 가능한 용융상태가 존재하는 액정 폴리에스테르는 고강도 플라스틱으로 이용된다. 고강도 섬유로써의 이용은 Table 6에 기술된 바와 같이 일반산업, 복합재료, 방호의, 마찰재, 정밀부품 등 다양하게 활용된다.

액정 폴리에스테르는 고성능 플라스틱 중에서 아주 특징 있는 재료로써 고온 고강도, 내후성, 치수안정성, 난연성, 절연성, 차단성, 진동흡수성 등 우수한 특성을 지니고 있다. 이러한 특성으로 볼 때 액정고분자 및 그 소재가 중요한 위치에 있음이 틀림 없으나 그 활용에는 상당한 제약이 따른다. 즉 성형과정에서의 내부 구조조절이나, 기계적 성질의 심한 방향 의존성이나, 피브릴화 등이 사용에 제약을 주는 요소다. 반면 특징한 성질을 이용하는 경우 치수안정성을 이용한 광섬유 피복, 진동흡수성을 이용한 충격흡수

재, 고탄성률을 이용한 스피카콘, 가스배리어성을 이용한 차단성 필름 등 새로운 소재로써 다양하게 활용할 수 있다.

#### 5. 결 론

주쇄가 메조젠으로 작용하는 강직성 액정고분자는 내열성, 고강도 등 고성능 구조재료로 사용하기에 적합하다. 첫째로 유동점도의 전달율 의존성이 크므로 액정방사를 통한 고강도 섬유의 제조가 용이하며, 자기보강효과가 있어서 고강도 플라스틱으로 활용된다. 둘째, 열팽창계수가 상대적으로 낮고 온도변화에 따른 내부 미세구조의 변화가 아주 적으므로 형태안정성이 확보될 수 있다. 셋째, 내열성, 절연성, 차단성, 내후성 등 전기전자 분야에 적용될 수 있는 우수한 성질을 갖고 있다. 그외 고탄성율이면서도 진동흡수성이 크고, 얇은 필름으로써 가스 배리어성이 좋고, 고주파 유전손실 등등 일반 고분자에서 볼 수 없는 특성을 나타낸다. 그러나, 실제 고성능 액정고분자 소재에 있어서는 심한 이방성, 피브릴화, 음값의 선 팽창계수 등 특성 그 자체가 단점으로 작용하기도 한다.

위에서 언급한 장점에도 불구하고, 아라미드 섬유가 고강도 섬유로써 그 영역을 차지하고 있으나 아직

특성 상 보완해야 할 것이 많다. 동시에 고강도 플라스틱으로 액정 폴리에스테르의 이용이 각광을 받고 있으나 공정상의 난점, 소재의 특수성으로 인하여 일반화되기는 어렵다. 그러므로, 장기적으로 액정고분자의 제조 부문 보다는 구체적으로 활용할 수 있는 독특한 특성에 치중한 분석, 설계, 응용 연구가 필요하다. 또한, 복합재료, 분자복합재료, 정밀기기재료 등 고성능 구조재료로서 응용도 액정고분자의 고차구조 설계와 함께 체계적인 연구가 요구된다.

### 참고문헌

1. a) P. W. Morgan, *J. Polym. Sci.*, Part C, **4**, 1075 (1963).
- b) P. W. Morgan and S. L. Kwolek, *Macromolecules*, **8**, 104(1975).
2. W. Jackson and H. F. Kuhfuss, *J. Polymer. Sci., Polym. Phys. Ed.*, **14**, 2043(1976).
3. W. Jackson and H. F. Kuhfuss, U. S. Patent, 3, 778, 410(1973).
4. I. M. Ward, "Structure and Properties of Oriented Polymers", Applied Science Publishers Ltd., London(1975).
5. A. Ciferri and I. M. Ward, "Ultra-High Modulus Polymer", Applied Science Publishers Ltd., London(1979).
6. S. Cheng, J. Janimak, A. Zhang, and Z. Zhou, *Macromolecules*, **22**, 4240(1989).
7. K. Yonetake, T. Sagiya, K. Koyama, and T. Masuko, *ibid.*, **25**, 1009(1992).
8. Kirk-Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology", 3rd Ed., pp. 213-242, John Wiley & Sons Inc.(1978).
9. D. Turek and G. Simon, *Polymer International*, **27**, 165(1992).
10. H. Blades, U. S. P. 3, 869, 430(1975).
11. H. Blades, U. S. P. 3, 767, 756(1973).
12. F. Higashi, M. Goto, Y. Nakano, and H. Kakinoki, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, **18**, 851(1980).
13. Mera Hiroshi, Japan Kokai Tokkgo Koho, 77-71, 593(1977).
- Mera Hiroshi et. al, Japan Kokai Tokkyo Koho, 78-294(1978).
14. P. W. Morgan, *Macromolecules*, **10**, 1381(1977).
15. T. I. Bair et. al, US. P. 3, 817, 941(1974).
16. Mera Hiroshi et. al, Ger. Offen. 2, 726, 178 (1978).
17. M. Panar and L. F. Beste, *Macromol*, **10**, 1491 (1977).
18. T. I. Bair, P. W. Morgan, and F. L. Killian, *Macromol*, **10**, 1396(1977).
19. S. L. Kwolek, *Macromolecules*, **10**, 1390(1977).
20. Yoshihiko Onogi, James L. Whiteand, and John F. Fellets, *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.* **18**, 663(1980).
21. J. L. White and J. F. Fellers, *J. Appl. Polym Sci, Appl. Poly. Symp.*, **33**, 137(1978).
22. G. raumann and J. L. Brownless, *J. Macromol. Sci.-Chem.* **A7**, 281(1973).
23. R. J. Morgan, C. O. Prunenda, and W. J. Steele, *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.*, **15**, 1757(1977).
24. S. Cottis, J. Economy, and B. Nowak, U. S. Patent, 3, 637, 595(1972).
25. G. calundann, U. S. Patent, 4, 067, 852(1978), 4, 161, 470(1979), 4, 184, 996(1980).
26. A. Muhlebach, R. Johnson, J. Lyerla, J. Economy, *Macromolecules*, **21**, 3115(1988).
27. A. Biswas and J. Blackwell, *Macromolecules*, **20**, 2997(1987).
28. A. Muhlebach, J. Economy, R. Johnson, t. Karis, and J. Lyerla, *Macromolecules*, **23**, 1803 (1990).
29. M. Troughton, G. Davies, and I. Ward, *Polymer*, **30**, 58(1989).
30. Y. Lin and H. Winter, *Macromolecules*, **21**, 2439 (1988).
31. D. Kalika and D. Yoon, *Macromolecules*, **24**, 3404(1991).
32. A. Kaito, K. Nakayama, and M. Kyotani, *J. Polym. sci., Part B. Polym. Phys. Ed.*, **29**, 1321 (1991).